

氏名	富田 太平 とみ た たい へい
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第1186号
学位授与の日付	昭和54年5月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	気液上昇二相流における液側物質移動に関する研究

(主査)
論文調査委員 教授 江口 彌 教授 佐田 栄三 教授 橋本 健治

論文内容の要旨

本論文は、気液上昇二相流を高速化学反応操作に用いるための物質移動に関する諸特性因子を流動特性と共に明らかにし、それらの基本的諸量を与えられる装置及び操作条件に対して予測推算する方法についての研究結果をまとめたもので、序論、本文2編5章、及び結論からなっている。

序論では、気液二相流の物質移動特性及びこれに関連する流動特性に関する既往の研究について概説すると共に、それらの成果の問題点を指摘して、本研究の目的、意義と研究内容の概要を述べている。

第1編は、気液上昇二相流の物質移動特性に関連する流動特性と混合特性について論じている。

第1章では、二相流のフロス流及びアニュラー流領域の液膜厚さの時間的変動を電導度法で測定し、液膜厚さの変動の強さ、攪乱波の周期と伝播速度などの変動特性値を、液膜厚さの変動波形を統計的に解析することによって求め、さらにそれらの特性値と気液流速の関係及び流動様式との対応関係を明らかにしている。

第2章では、気液上昇二相流の圧力損失に対する気液流速、管径、界面張力及び液粘度の影響を既往の研究のほぼ全領域を越える広範囲にわたって測定して高精度の相関関係図を提出すると共に、みかけの気相摩擦係数が液膜厚さで相関でき、この関係が単相流における摩擦係数と管壁表面粗度の関係に類似であることを示している。

第3章では、トレーサーのインパルス応答法によって液相ホールドアップと液相の混合拡散係数を測定した結果について論じている。二相流の液相平均滞留時間と管軸方向混合拡散係数の同定に当たって、モーメント法と最小自乗法の二種のインパルス応答解析法について検討して、両者に有意差は認められないがモーメント法の方が短時間で解が得られること、脈動的物質輸送を伴うスラグ流領域の実応答を1次元拡散モデルによって正確に表現するのは困難であるが、フロス流及びアニュラー流領域の実応答は1次元拡散モデルによる理論応答とよく一致することを示している。液相ホールドアップに対する気液流速、管径、液粘度、表面張力及び気液両相密度の影響についての既往の実験的相関は、流れの方向や測定方法の相違にかかわらずいずれも著者の測定値とよく一致することを示し、液相ホールドアップは気相運動エネルギー

に依存して変化すると推測している。また、液相の軸方向混合拡散係数に対する気液流速、管径及び液粘度の影響を検討して、混合拡散係数は、フロスト領域ではガス流速の増大と共に次第に減少して摩擦による圧力損失と位置による圧力損失とが拮抗する点で極小値を示したのち増大し、アニュラー流領域では気相流速と共に急増することを示し、単相流における速度分布モデルに類似した理論展開を二相流について試み、混合パラメーターと気液両相の空塔基準レイノルズ数との相関図を与えている。

第2編は、スラグ流領域からアニュラー流領域の範囲における液側物質移動特性を論じている。

第4章では、水、グリセリン、エチルアルコール、ブチルアルコールの各水溶液中に溶解した二酸化炭素の空気による放散実験における液相の管軸方向組成変化を測定して求めた液側容量係数とその相関について述べている。始めに実験データの解析に1次元混合拡散モデルを適用した場合とプラグ流を仮定した場合とを比較して、そのいずれの理論解も実測値とよく一致し、得られる液側容量係数に大差のないことを明らかにしている。容量係数はスラグ流領域で気相流速の増加と共に急増するが、フロスト領域では増大傾向は緩やかになり、アニュラー流領域で再び急増する。そして、液側容量係数に対する既往相関式のうち、消散エネルギーに基づく相関は十分でないことを指摘し、二相流の気液界面に薄い粘性層を仮定して物質移動と運動量移動の相似性に基づいて液側容量係数の新しい相関式を導き、さらに気液流速、管径、液粘度、表面張力の影響を検討して半経験的相関式を得ている。また、上昇流のほかに水平流及びコイル流についての既往の研究結果も含めて容量係数は圧力損失勾配に比例すると考えるのが妥当であると指摘している。

第5章では、亜硫酸ナトリウム水溶液の酸素による酸化反応を利用して上昇二相流の有効気液界面積を測定して相関を行い、この界面積を用いて第4章で得た容量係数から液側物質移動係数を求めている。そして、有効界面積、圧力損失及び運動量交換速度から液側物質移動係数が推算できることを明らかにしている。

結論では、以上の結果をまとめて記述して結論としている。

論文審査の結果の要旨

気液並流二相流の流動状態は、気液流速及び流速比などによって多様に変化するが、両相連続相の領域では液相が大きな剪断力により攪乱されるために種々の特徴的な輸送現象を示すことが知られている。然し、既往の研究の多くは、流動特性及び伝熱特性に関するものであり、物質移動特性に関しては限られた気液流速範囲についての少数の研究結果が報告されているに過ぎない。

本論文は、二相流の持つすぐれた特色を、熱的に不安定な反応生成物の生じ易い高速気液化学反応の反応器に活用するために、気液上昇二相流の物質移動に関連する基本因子特性を広い気液流速範囲にわたって流動特性と関連させながら究明した結果をまとめたもので、得られた主要な成果を要約すれば次の通りである。

(1) 二相流のフロスト流及びアニュラー流領域における液膜厚さの時間的変動波形を測定して統計的に解析し、液膜厚さの変動強さ、攪乱波の周期と伝播速度などの変動特性値と気液流速の関係を明らかにしている。この中で、液膜厚さ変動の自己相関関数が最初に零となる遅れ時間が物質移動係数を表面更新モデル

ルに基づいて解析した時の気液接触時間と同じオーダーの値となること、及び液膜平均流速が 2.5 m/s 以上では液流量の大部分が波の形で実質的には液塊として移動すると考えられることを指摘している。これらは、物質移動特性を把握する上で有用な知見である。

(2) 二相流の摩擦圧力損失が、空塔基準流速を用いて単相流と同様に Fanning 式で表されると仮定して定義される見掛けの気相摩擦係数は、平均液膜厚さと管半径の比によって一義的に定まり、この関係が単相流における摩擦係数と管壁表面粗度の関係に類似であることを明らかにしている。

(3) フロス流及びアニュラー流領域の液流れに 1 次元混合拡散モデルが適用できることを確かめ、この流速域では単相流における速度分布モデルに類似した理論によって二相流の液相混合パラメーターが相関できることを明らかにした。

(4) 液相ホールドアップに対する既往の実験的相関は、流れの方向によらず測定値と良好な一致を示すことが確認された。

(5) 広い気液流速範囲にわたって測定された液側物質移動容量係数を、二相流の気液界面に注目して物質移動と運動量移動の相似性から考察し、諸操作条件と物質移動容量係数との相関式を提出した。さらに、この相関関係から二相流の容量係数は、上昇流のみならず、水平流、コイル流を含めて圧力損失勾配に比例すると考えるのが妥当であることを指摘した。

(6) 物質移動容量係数を有効気液界面積と物質移動係数に分離し、単位液体積当りの界面積が単位空塔体積当りの気相消散エネルギーで、物質移動係数が界面を通しての運動量交換速度と界面摩擦係数を用いてそれぞれ相関されることを明らかにして、有効界面積及び物質移動係数を操作条件より推算する手法を提案した。

以上を要するに、本論文は気液上昇二相流における液側物質移動特性を、液膜の挙動、圧力損失、液相ホールドアップ、液相混合特性などとの関連において究明して、多くの有用な知見を得ており、学術上、工業上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。